

スケールを変えると、 ヒトの見え方が変わる

東京理科大学 研究推進機構 総合研究院 嘱託助教 いしがき たい き 石垣 泰暉

ヒトを見るための出発点

東京理科大学先進工学部機能デザイン工学科には、ナノメディスン、ロボティクスやデザイン思考など、異なる立場からヒトを研究する教員がいます。その一部の教員どうしで、ヒトの身体や、ヒトとロボットの関わりをどのように理解するかについて、私も一緒になって議論してきました。

ヒトの身体を研究しようとする、一つの見方だけでは捉えきれないことが多くあります。身体全体の動きとして見える現象もあれば、皮膚や筋肉の状態として見える現象もあります。さらに細かく見ると、細胞や分子で起きている小さな変化も関係してきます。ヒトは、身体全体から小さな構造まで、さまざまな現象が重なってできている対象です。

そのため、ヒトを理解しようとする研究には、さまざまな専門を持つ研究者が関わります。体の状態を測る研究もあれば、細かな構造や反応を調べる研究もあります。身体の運動や、ロボットによる支援を考える研究もあります。ところが、同じヒトやヒトとロボットの関わりを扱っていても、何を見ているのか、どの大きさや時間の変化を問題にしているのかは大きく異なります。同じ現象を見ているつもりでも、身体全体の動きとして見ているのか、皮膚や細胞の変化として見ているのかによって、見えているものが変わってくるのです。

私はロボットの運動計算理論を専門にしています¹⁾。ヒトやロボットの動きには、位置、速度、力、接触など、たくさんの情報が含まれています。それらをばらばらに眺めるのではなく、どのような見方をすれば運動の特徴をうまく捉えられるのかを考えると、研究を行う過程で私は面白さを感じています。

この「情報をどのように見るか」という考え方は、

【表1】 空間スケールとヒトにおける主な対象

空間スケール	ヒトにおける主な対象
ナノメートル	分子、タンパク質
マイクロメートル	細胞
ミリメートル	組織、血管、筋線維束
センチメートル	筋肉、腱、骨
メートル	身体全体、姿勢、運動

専門によって見えているものが違う状況を整理するときにも役立つのではないかと感じています。身体の運動に注目すれば、姿勢や力の流れが見えてきます。体の状態を測ろうとすれば、皮膚や細胞の変化が重要になるかもしれません。見えているものは違っていても、それぞれの情報を「どの大きさで起きているのか」「どの時間幅で変化しているのか」という基準で並べると、比べたり議論したりしやすくなります。その基準になるのが「スケール」という考え方です。

ここでいうスケールとは、単に大きいものと小さいものを区別するための言葉ではありません。どの範囲を一つのまとまりとして見るのか、どのくらい細かな変化まで捉えるのかを決めるための見方です。注目するスケールが変われば、同じヒトを見ている、重要に見える現象や必要になる測定方法も変わります。

たとえば空間について考えると、ヒトの中で何を見たいかによって、必要な大きさの単位は変わります。

【表1】のように、分子やタンパク質はナノメートル、細胞はマイクロメートル、組織や血管はミリメートル、筋肉や骨はセンチメートル、身体全体の姿勢や運動はメートルの範囲で考えることになります。

皮膚に現れるスケール

スケールという考え方を具体的に考えるために、こ

ここでは皮膚を例にしてみます。皮膚は身体の外側にあり、見たり触れたりできる身近な対象です。顔が赤くなる、汗をかく、乾燥する、むくむといった変化は、日常生活の中でも気づきやすいものです。一方で、そのような見た目の変化の裏側には、神経、血管、免疫、ホルモン、細胞など、多くのしくみが関わっています。皮膚は単なる身体の表面ではなく、身体の内側の状態や外から受ける刺激が現れる場所でもあります。

皮膚には、身体全体の動き、外から加わる力、細胞の反応、触れる素材の性質が重なって現れます。たとえば、人が物に触れる場面を考えると、身体全体のスケールでは姿勢や動きが関係し、皮膚表面のスケールでは圧力や摩擦、汗や水分が関係します。さらに小さなスケールでは、細胞の反応も関わってきます。そのため皮膚は、身体全体の状態と小さな構造の変化をつなぐ場所であり、スケールを考える入口になります。

さらに、私の専門であるロボット研究の立場から見ても、皮膚は興味深い対象です。ロボットがヒトや環境と関わる時、力は必ずどこかの表面を通して伝わります。しかし、相手が柔らかく変形する場合には、どこにどれくらいの力がかかり、表面がどのように変形しているのかを捉えることが難しくなります。そのためロボットの分野では、接触した場所や力を測るロボット用のスキンセンサや、柔らかい表面の変形を表すスキンモデルが研究されています。

こうした研究では、力の大きさだけでなく、その力がどの範囲に広がっているのか、どのくらいの速さで変化しているのかを捉えることも重要です。同じ力であっても、狭い範囲に集中して加わる場合と、広い範囲に分散して加わる場合とでは、皮膚や身体が受ける影響は異なります。ここにも、空間と時間のスケールを合わせて考える必要があります。

このように、皮膚は一つの対象でありながら、身体全体の動きから皮膚表面の変化、さらに細胞や分子の性質まで、さまざまなスケールを含んでいます。

空間と時間を合わせて見る

しかし、皮膚に現れる変化には、どの空間スケールで起きるかだけでなく、どのくらい時間をかけて現れるかという違いもあります。それらには背景にあるしくみや、注目すべき点が異なります。そこで、皮膚に

【表 2】 時間スケールと皮膚に現れる変化

時間スケール	皮膚に現れる変化の例	背景にある主なしくみ
秒	鳥肌	自律神経による反応
秒から分	発汗	体温調節や緊張への反応
分から時間	じんましん、かゆみ	免疫や神経の反応
時間から日	乾燥、むくみ	水分や循環の変化
週から月	皮膚の厚み、傷あと	繰り返しの刺激や修復
月から年	しわ、ハリの低下	皮膚を支える組織の変化

現れる変化を時間スケールで見えます。

たとえば、同じ赤みでも、緊張や運動によってすぐに現れるもの、こすれや圧迫によって時間をかけて目立ってくるもの、かゆみや腫れと一緒に現れるものでは、考えるべきことが変わります。どこで起きたのか、どのくらい広がっているのか、どのくらいの時間をかけて変化したのかを合わせて見ることで、身体の変化をより具体的に考えられます。

このとき、変化が起きた瞬間だけを見るのか、その前後を含めて見るのかによっても、捉え方は変わります。ある時点の状態だけでは分からないことも、時間の流れに沿って観察することで、変化の始まりや進み方が見えてくることがあります。身体の現象を理解するためには、状態そのものだけでなく、変化の過程を見ることも大切です。

そこで、皮膚に現れる変化を時間スケールで並べると、たとえば【表 2】のように整理できます。短い時間で起こる変化には、身近な例がたくさんあります。寒いときに鳥肌が立つ、緊張して汗をかくといった反応は、秒から分の時間で起こります。

一方で、もう少し長い時間をかけて現れる変化もあります。じんましんのような反応は、分から時間の中で現れることがあります。乾燥やむくみは、数時間から数日の中で変わることがあります。さらに、同じ場所が何度もこすれたり押されたりすると、皮膚の厚みや傷あとといった変化につながることもあります。しわやハリの低下のように、月や年という長い時間の中で少しずつ進む変化もあります。

同じ皮膚の変化でも、見た目だけを見るのか、働きの変化を見るのか、皮膚の中で起きている変化まで考えるのかで、意味が変わります。赤みや腫れ、粉をふいたような乾燥は、目で見てわかる変化です。しかしその裏側では、水分が失われる、押されたときの感じ方が変わる、皮膚が動きにくくなる、といった変化も起きている。見た目に現れた変化を入口にして、その奥でどのような働きや構造の変化が起きているのかを考えることができます。

このように、同じ皮膚の変化でも、空間と時間のスケールを合わせて見ることで意味が変わります。どの大きさで見ているのか、どのくらいの時間幅で見ているのかを意識すると、皮膚に現れる変化を、身体の中で起きているさまざまな反応の重なりとして捉えやすくなります。この見方は、皮膚だけでなく、ヒトの身体全体や、その他の現象について考えるときにも役立ちます。

スケールで知識をつなげる

ここまで見てきたように、ヒトの身体には、分子や細胞のような小さな世界から、筋肉や関節、身体全体の運動まで、さまざまなスケールの現象が重なっています。それぞれのスケールには、それぞれの専門の知識があります。分子や素材を見る知識、細胞や組織を見る知識、力や運動を見る知識は、別々のものに見えるかもしれません。

しかし実際には、これらの知識は互いに関係しています。たとえば、身体全体の動きは筋肉や関節の動きによって生まれますが、その動きが皮膚や組織に力を加えることもあります。逆に、皮膚の状態や感覚の変化が、動きや姿勢に影響することもあります。小さなスケールで起きる変化が大きなスケールの運動や行動に関わることもあれば、大きなスケールの動きが皮膚や組織の状態を変えることもあります。

この見方は、ヒトの身体そのものを理解するときだけでなく、身体に外から関わる技術を考えるときにも役に立ちます。たとえば、ロボットが人に触れたり、人の動きを助けたりする場面では、身体全体の動きだけでなく、筋肉や関節、皮膚、素材との接触など、いくつかの見方が重なります。どのスケールに注目するかによって、考えるべきことも変わってきます。

このように考えると、一つの見方だけでは整理しきれない問題も、別の見方を加えることで少しずつ考えやすくなります。ロボットの動き、身体の動き、皮膚や素材の状態、時間をかけて現れる変化など、いくつかの情報を合わせて見ることで、別々に見えていた知識の関係も少しずつ整理しやすくなります。

私にとって、異なる専門の知識がつながっていく過程は、研究をしていて面白いと感じる瞬間の一つです。一つの見方だけでは捉えきれないことも、別の見方を加えることで少しずつ輪郭が見えてくることがあります。空間や時間のスケールを意識することは、異なる対象や知識を比べ、つなげて考えるための出発点になるのではないのでしょうか。

参考文献

- 1) 石垣, 鮎澤, 山本, 吉田, 「広がる運動計算論 —剛体リンクから連続柔軟ロッドの高階微分運動学—」, 日本ロボット学会誌, 2026, Open access